ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ВЫПУСК 51, 56 – 69, 2026

Поступила в редакцию 27.04.2026 г.
Опубликована 27.05.2026 г.

ISSN 2304-7380

УДК 550.385

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ С ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ GOES-18, GOES-16 И ЭЛЕКТРО-Л

А. А. Брагина[1,2], И. В. Лыгин[1], Д. А. Арутюнян[2], А. Д. Шклярук[2], М. Р. Мухаметзянов[3]

[1]Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2]Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова (ИПГ), Москва, Россия
[3]ООО «Гипростроймост-Геотех», Москва, Россия

В статье представлены результаты сравнительного анализа вариаций полного вектора магнитного поля на геостационарной орбите по данным российского КА (космического аппарата) «Электро-Л» №4 (165.8° в.д.) и зарубежных КА GOES-16 (104.7° з.д.) и GOES-18 (137° з.д.). Исходные данные магнитометров ФМ-Э и MAG приведены к единому формату с минутным разрешением, выполнена фильтрация суточных и высокочастотных вариаций. Методом взаимной корреляции установлены временные сдвиги между сигналами спутников, составляющие от 2 до 6 часов, которые объясняются различиями в местном магнитном времени (MLT). Показано, что высокочастотная компонента поля (периоды менее 12 часов) хорошо согласуется на всех трёх аппаратах, особенно в периоды геомагнитных возмущений, тогда как суточные вариации и отклик на магнитные бури существенно зависят от долготного положения КА. На примере бури 14-17 июня 2023 г. выявлено, что GOES-16 и GOES-18 демонстрируют рост поля в начальной фазе, тогда как «Электро-Л №4» реагирует падением, что указывает на асимметрию магнитосферы. Полученные результаты подчёркивают необходимость учёта положения спутника при интерпретации данных и построении прогнозов космической погоды.

Ключевые слова: космические аппараты, магнитометрия, магнитное поле Земли, вариации магнитного поля, геостационарная орбита.

EDN: YXNTEN

1. ВВЕДЕНИЕ

Геостационарные космические аппараты, снабженные магнитометрической аппаратурой, обеспечивают возможность длительного мониторинга магнитного поля в фиксированной точке околоземного пространства. Геостационарные спутники находятся на высотах 35-36 тыс. км. внутри магнитосферы и за счет синхронного вращения с Землей вокруг ее оси ежесуточно могут регистрировать изменения магнитного поля, связанные с асимметрией магнитосферы (вызванной действием солнечного ветра) и суточными вариациями магнитного поля. Во время магнитных бурь магнитопауза (граница магнитосферы) со стороны Солнца может приближаться к высотам стационарных спутников, что позволяет регистрировать и изучать особенности глобальной динамики магнитного поля.

Электронная почта авторов для переписки:

Брагина Анастасия Андреевна, e-mail: bragina@ipg.geospace.ru

Адрес редакции журнала «Гелиогеофизические исследования»:

ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

https://elibrary.ru/yxnten

Цель работы – количественно сопоставить вариации модуля геомагнитного поля на трех разных долготных позициях: 165.8° в.д. (КА «Электро-Л»), 104.7° з.д (GOES-16) и 137° з.д. (GOES-18) (рис. 1) и оценить различия и сходства в том, как проявляются возмущения, особенно в периоды геомагнитных бурь.

Для исследования выбраны временные интервалы от 2023-06-06 до 2023-07-03 и от 2023-08-03 до 2023-09-04. Интервалы выбраны исходя из следующих признаков:

– наличие непрерывных одноминутных данных с КА серии GOES и сопоставимых данных с «Электро-Л» №4 (центр данных Института прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова);
– присутствие бурь [Рейтинг геомагнитных…], позволяющих проанализировать поведение поля в возмущённых условиях.

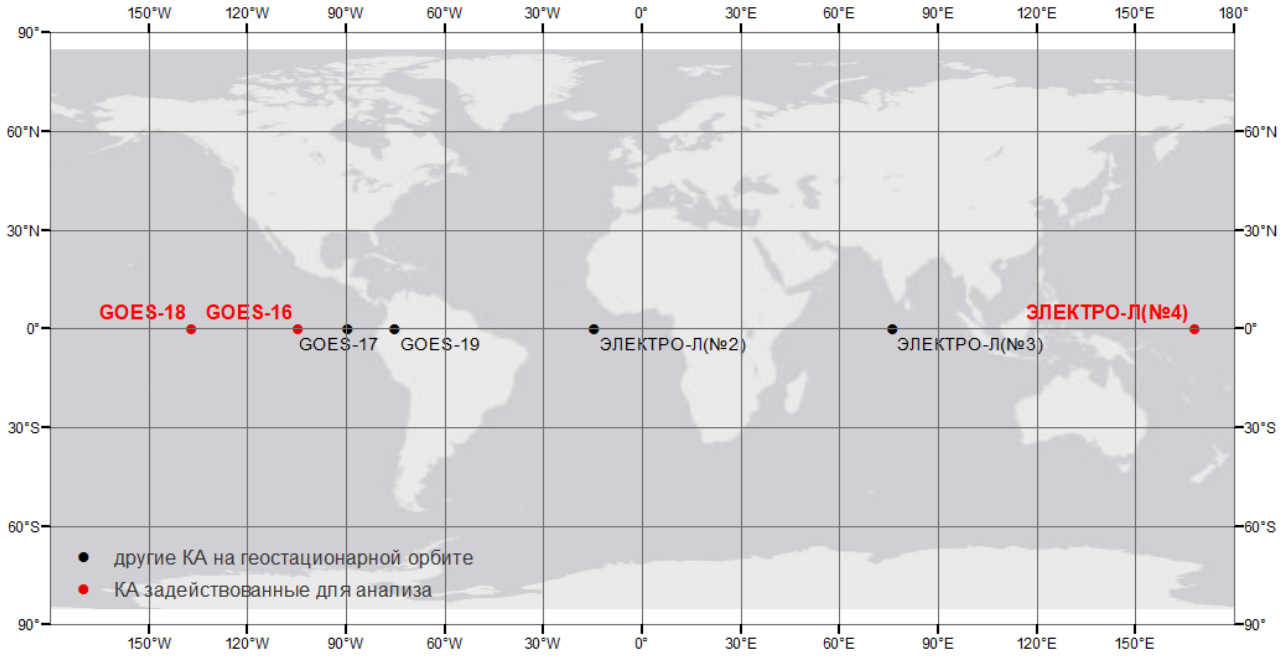


Рис. 1. Положение действующих геостационарных КА серий Электро-Л и GOES

2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

На аппаратах установлены трёхкомпонентные феррозондовые магнитометры MAG (GOES-16/18) и ФМ-Э (Электро-Л №4), основные характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики магнитометров MAG и ФМ-Э

Параметр	**КА Электро-Л №4 [Лапшин и др., 2013]**	**КА GOES-16, 18 [MAG…]**
Магнитометр	ФМ-Э	MAG
Тип магнитометра	феррозондовый	феррозондовый
Измеряемые компоненты	X, Y, Z	X, Y, Z геопространственно определенные
Геопространственная привязка	локальная (в приборных осях спутника)	EPN
Диапазон измерений, нТл	±300	±512
Точность, нТл	±5	±1
Частота измерений, измерений в минуту	600	600

Исходные данные магнитометра ФМ-Э с КА «Электро-Л №4» получены из архива ФГБУ «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова». Данные магнитометра MAG

загружены из открытого архива CDAWeb [CDAWeb…]. Данные обоих спутников имеют исходную частоту 10 Гц. Для удобства дальнейшего анализа они были осреднены до разрешения 1 минута

Спутниковые магнитометры регистрируют три ортогональные компоненты (B_X, B_Y и B_Z), их данные представлены в общей временной шкале UTC (Coordinated Universal Time – всемирное координированное время). Данные магнитометра ФМ-Э (КА Электро-Л) представлены для трех компонент без пространственной привязки, а для магнитометров MAG данные по компонентам представлены в системе координат EPN (E (Earthward) – к Земле (вдоль радиус-вектора), P (Perpendicular) – перпендикулярно плоскости орбиты, N (ExP) – векторное произведение E на P). Для сопоставления данных трех спутников по измеренным компонентам магнитного поля рассчитаны значения модуля магнитной индукции B (рис. 2), инвариантные к системе координат, и объединены в общий массив с синхронизацией по абсолютному времени в секундах.

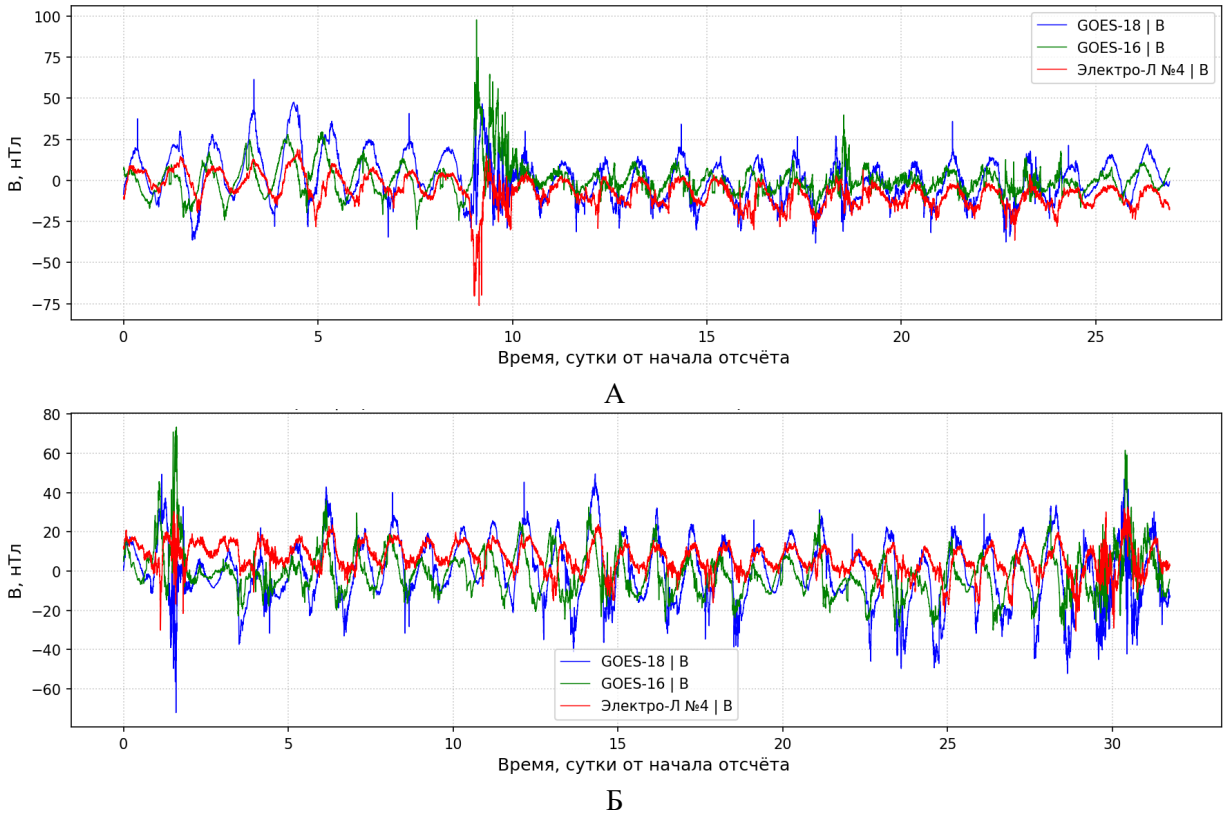


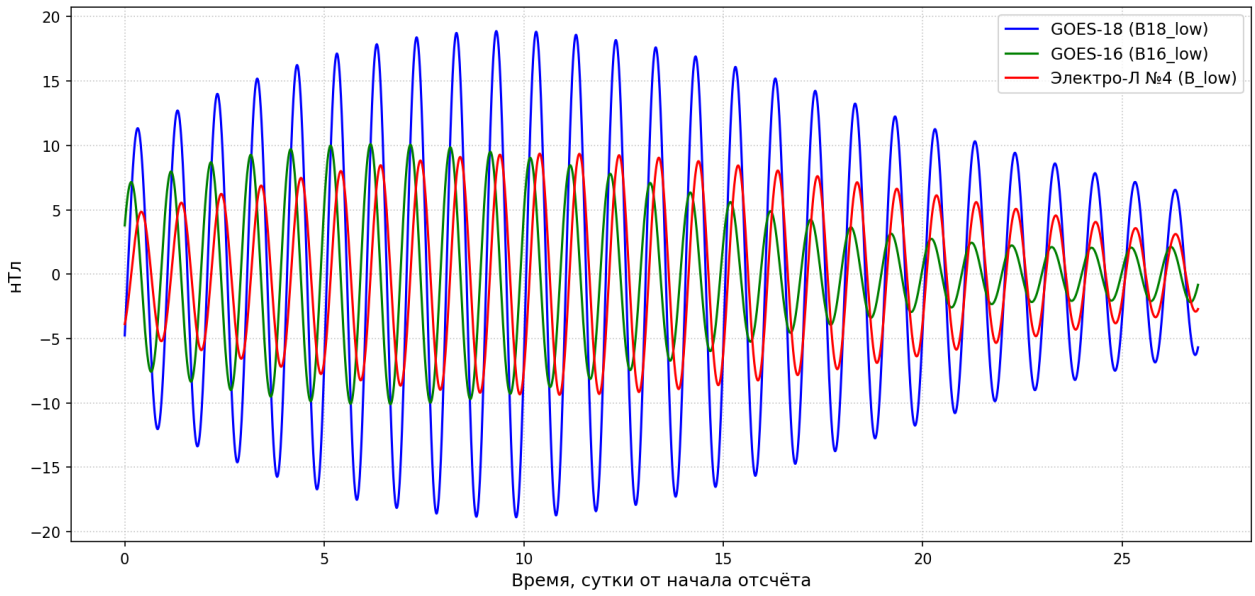
Рис. 2. Исходные данные за период (А) от 2023-06-06 до 2023-07-03 и (Б) от 2023-08-03 до 2023-09-04 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4 по полному вектору

Исходные файлы с каждого КА были преобразованы в единый формат, содержащий временную метку и значение модуля полного вектора B. База данных была загружена в специализированное ПО (программное обеспечение) обработки и анализа данных. Поскольку оба аппарата регистрируют данные в шкале UTC, была выполнена процедура сведения массивов по дате и времени путем расчета абсолютного значения времени в секундах. Для корректного сравнения вариаций, а не абсолютных значений, из каждого временного ряда было вычтено среднее значение за соответствующий период, вычисленное отдельно для КА GOES и «Электро-Л» №4.

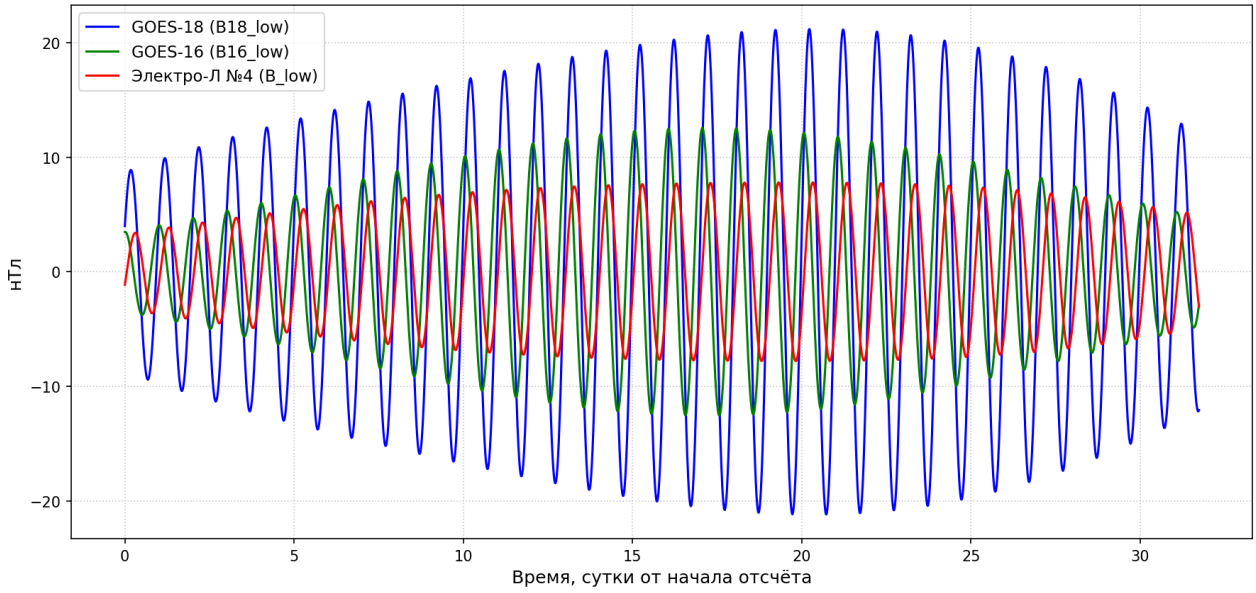
3. АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для выделения суточной компоненты геомагнитных вариаций применен полосовой фильтр с диапазоном 23-25 часов (рис. 3).

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова



А



Б

Рис. 3. Суточная компонента (полосовой фильтр 23-25 часов) за период (А) от 2023-06-06 до 2023-07-03 и (Б) от 2023-08-03 до 2023-09-04 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4 рассчитанная по полному вектору

На графиках (рис. 3) явно прослеживается расхождение в суточных вариациях. Для более подробного анализа была использована функция взаимной корреляции для всех пар КА, которая рассчитывает сдвиг по времени между значениями. Результаты взаимной корреляции представлены в таблицах 2 и 3.

Временной сдвиг должен минимизироваться при учете разницы в локальном магнитном времени (MLT) между двумя точками. Магнитное локальное время – время, привязанное не к географическому положению Солнца, а к ориентации относительно магнитного полюса Земли и направления на Солнце [ГОСТ…]. Рассчитывается из координат, высоты, точного времени (UT) и актуальной модели магнитного поля. В библиотеке ApexPy используется IGRF.

Таблица 2. Значения взаимной корреляции для периода от 2023-06-06 до 2023-07-03

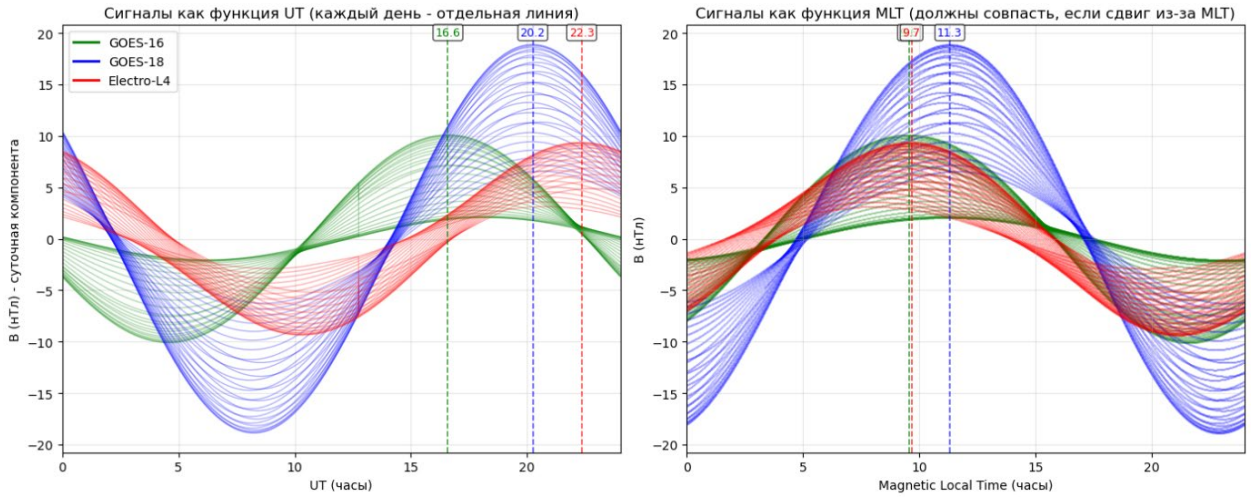
	GOES-18	**GOES-16**	**Электро-Л №4**
GOES-18	-	Корреляция: 0.9581 GOES-16 опережает GOES-18 на 207 минут (3.5 часа)	Корреляция: 0.9881 GOES-18 опережает Электро-Л №4 на 112 минут (2 часа)
GOES-16	Корреляция: 0.9581 GOES-16 опережает GOES-18 на 207 минут (3.5 часа)	-	Корреляция: 0.9206 GOES-16 опережает Электро-Л №4 на 327 минут (5.5 часа)
Электро-Л №4	Корреляция: 0.9881 GOES-18 опережает Электро-Л №4 на 112 минут (2 часа)	Корреляция: 0.9206 GOES-16 опережает Электро-Л №4 на 327 минут (5.5 часа)	-

Таблица 3. Значения взаимной корреляции для периода от 2023-08-03 до 2023-09-04

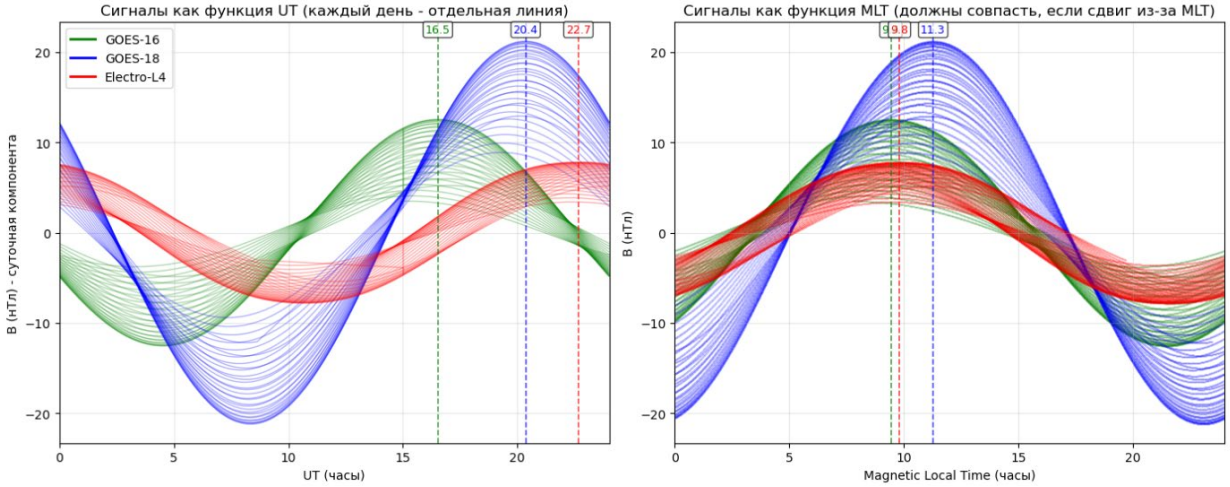
	GOES-18	**GOES-16**	**Электро-Л №4**
GOES-18	-	Корреляция: 0.9914 GOES-16 опережает GOES-18 на 224 минут (3.5 часа)	Корреляция: 0.9761 GOES-18 опережает Электро-Л №4 на 144 минут (2.5 часа)
GOES-16	Корреляция: 0.9914 GOES-16 опережает GOES-18 на 224 минут (3.5 часа)	-	Корреляция: 0.9778 GOES-16 опережает Электро-Л №4 на 363 минут (6 часов)
Электро-Л №4	Корреляция: 0.9761 GOES-18 опережает Электро-Л №4 на 144 минут (2.5 часа)	Корреляция: 0.9778 GOES-16 опережает Электро-Л №4 на 363 минут (6 часов)	-

При помощи дополнительной оболочки для языка программирования Python «ApexPy» [ApexPy documentation…], которая включает возможность расчета MLT, был проведен анализ зависимости суточной компоненты от значений MLT. На рисунке представлено сравнение суточных вариаций от времени суток в UT – хорошо прослеживается фазовое расхождение, а также в MLT – значения GOES-16 и Электро-Л №4 практически идентичны, что доказывает природу временного сдвига. При этом значения GOES-18 отстают примерно на 1.5 часа (рис. 4).

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова



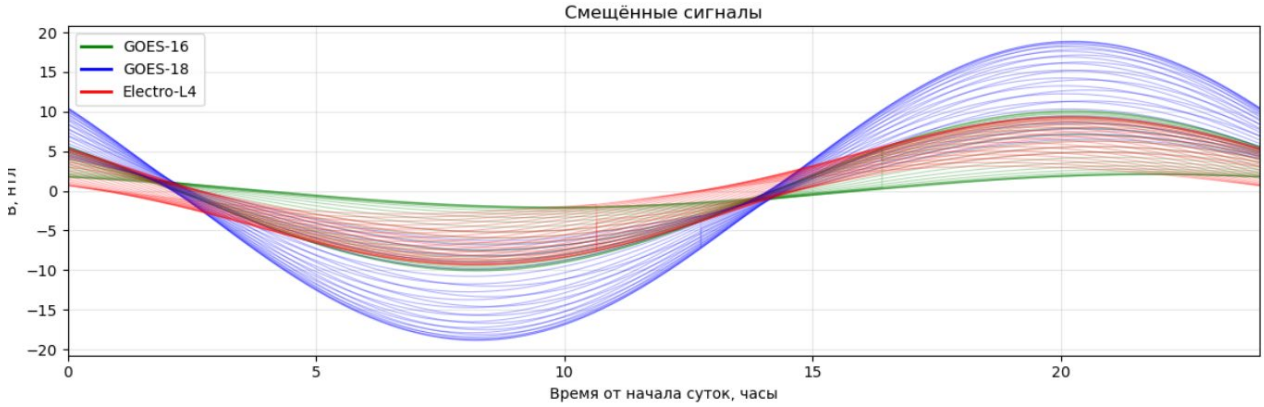
А



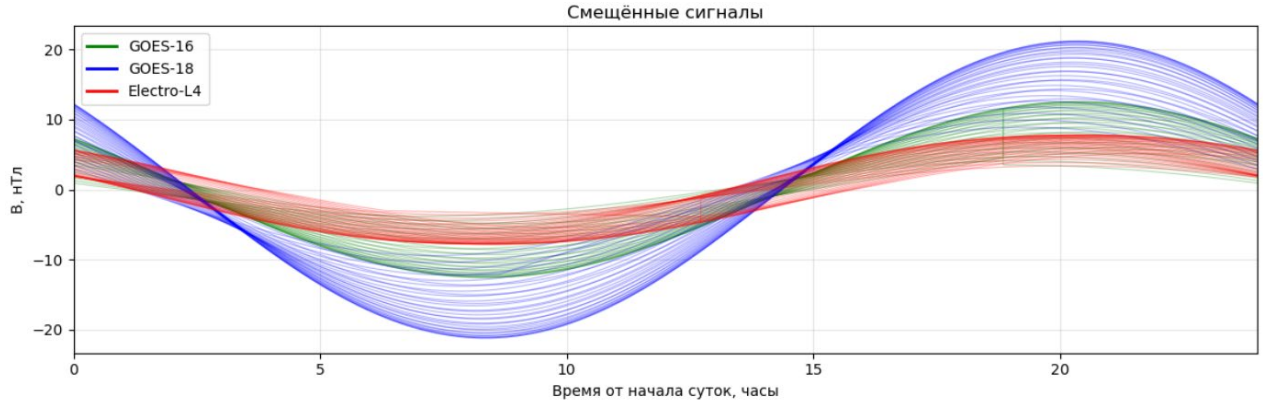
Б

Рис. 4. Суточная компонента (полосовой фильтр 23-25 часов) за период (а) от 2023-06-06 до 2023-07-03 и (б) от 2023-08-03 до 2023-09-04 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4 как функция от UT и MLT

Суточные вариации, зарегистрированные по трём спутникам, имеют отчётливо выраженные фазовые расхождения. Фазовые сдвиги, оценённые на основе расчёта функции взаимной корреляции (фактические сдвиги), составили: между Электро-Л №4 и GOES-18 примерно 2 часа, между GOES-18 и GOES-16 примерно 3.5 часов, между Электро-Л №4 и GOES-16 – 5.5-6 часов. Для сравнения были рассчитаны предполагаемые сдвиги двумя способами. Первый основан на разнице географической долготы: между Электро-Л №4 и GOES-18 – 3.8 часов, между GOES-18 и GOES-16 – 2.2 часов, Электро-Л №4 и GOES-16 – 6 часов. Второй – с использованием магнитного локального времени (MLT), вычисленного библиотекой «ApexPy»: 1.5-1.6 часа, 1.6-2 и 0.1-0.4 часов соответственно. Все три оценки (фактическая, долготная и MLT) дали разные численные значения. Фактический сдвиг расходится как с простой долготной привязкой, так и с расчётами по MLT. Таким образом, для спутников на высоте ~36 000 км природа наблюдаемых фазовых сдвигов остаётся неясной. На такой высоте на формирование сдвига влияет не только положение спутника относительно Солнца или магнитных полюсов, но и некоторые дополнительные факторы, не учитываемые стандартными моделями. График совмещенных значений представлен на рисунке 5.



А



Б

Рис. 5. Суточная компонента за период (А) от 2023-06-06 до 2023-07-03 и (Б) от 2023-08-03 до 2023-09-04 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4. Данные приведены к временной метке GOES-18

4. АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЕРИОД МАГНИТНОЙ БУРИ

По данным модуля вектора магнитной индукции рассчитана высокочастотная компонента поля. Для этого использовался ВЧ фильтр Баттерворта с частотой среза 720 минут (12 часов). Этот фильтр выбран для подавления вариаций с периодами более 12 часов и последующего анализа более высокочастотных пульсаций.

ВЧ-компонента поля демонстрирует хорошую сопоставимость на всех трёх КА (рис. 6). В периоды геомагнитных возмущений наблюдается синхронное увеличение амплитуды пульсаций на всех спутниках, что свидетельствует о глобальном характере процессов в магнитосфере. В спокойное время уровень пульсаций низок, а различия в форме сигналов могут быть связаны с локальными условиями. Статистический анализ полученных данных приведен в таблицах 4 и 5. Были рассчитаны СКО (среднее квадратичное отклонение), отношение СКО и нормированная СКО.

В среднем, СКО между данными составляет 5-6 нТл, что показывает систематическое расхождение между данными на эту величину и может быть связано как с различным протеканием вариаций, так и с инструментальной погрешностью.

Следующий рассчитанный параметр – отношение СКО. Представляет собой отношение СКО двух исходных наборов данных. Используется для сравнения степени разброса данных в разных выборках. Самое большое различие в колебаниях ВЧ компоненты наблюдается у пар GOES-16 и Электро-Л №4 и также GOES-18 и Электро-Л №4. Электро-Л №4 фиксирует более слабые колебания ВЧ компоненты магнитного поля по сравнению с GOES-16 и GOES-18, которые между собой согласованы. GOES-16 и GOES-18 расположены на близких долготах (104.7° з.д. и 137° з.д.), тогда как Электро-Л №4 находится на 165.8° в.д. – на противоположной стороне Земли, что приводит к попаданию спутников в разные магнитные сектора с неодинаковой интенсивностью активности.

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

Альтернативной причиной могут быть различия в частотных характеристиках магнитометров или методиках обработки сигнала.

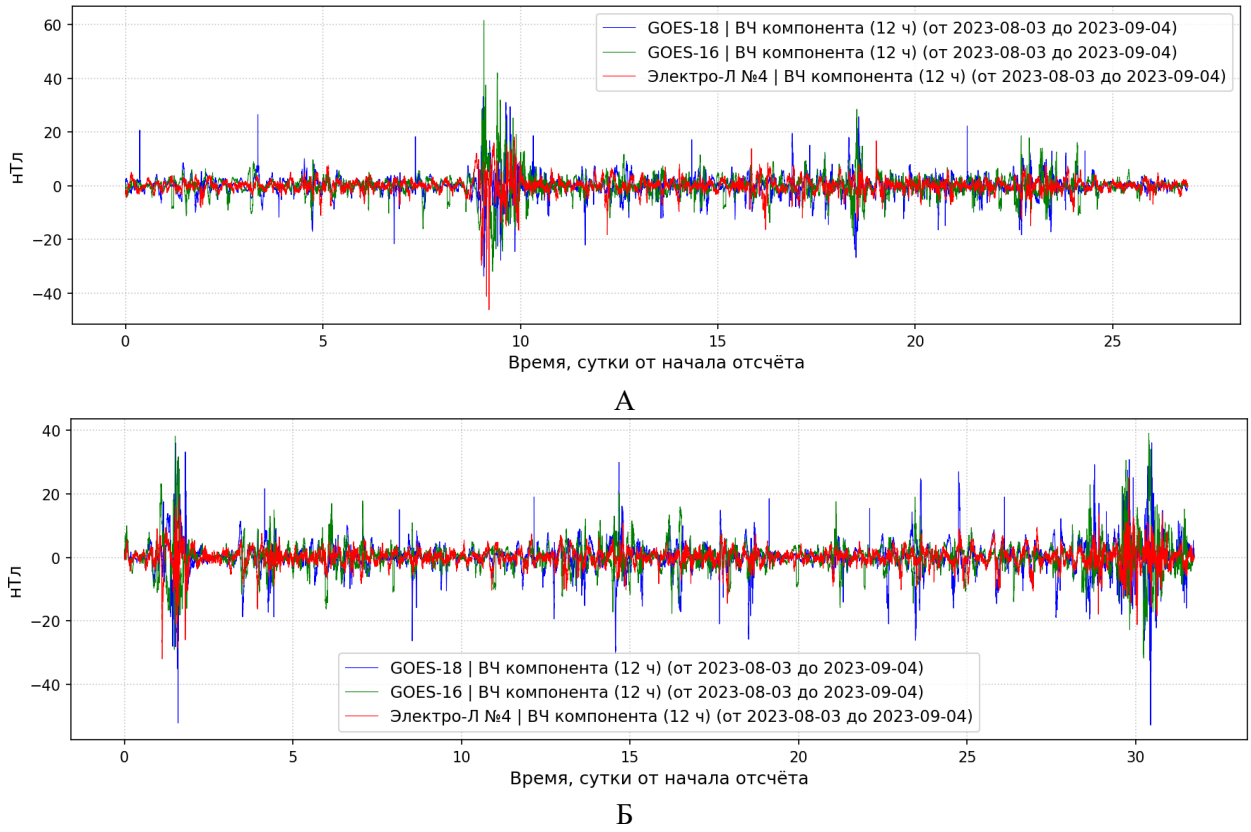


Рис. 6. Высокочастотная компонента (фильтр Баттерворта с частотой среза 12 часов) за период (А) от 2023-06-06 до 2023-07-03 и (Б) от 2023-08-03 до 2023-09-04 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4

Таблица 4. Статистические характеристики данных за период от 2023-06-06 до 2023-07-03

Пара КА	СКО, нТл	Отношение СКО	Нормированная СКО
GOES-16 и GOES-18	5.09	1.11	1.24
GOES-16 и Электро-Л №4	5.24	1.47	1.28
GOES-18 и Электро-Л №4	4.47	1.32	1.22

Таблица 5. Статистические характеристики данных за период от 2023-08-03 до 2023-09-04

Пара КА	СКО, нТл	Отношение СКО	Нормированная СКО
GOES-16 и GOES-18	6.67	0.95	1.43
GOES-16 и Электро-Л №4	5.58	1.58	1.25
GOES-18 и Электро-Л №4	4.76	1.65	1.02

Также было рассчитано нормированное СКО – отношение СКО к размаху данных. Позволяет оценить относительную величину расхождения в безразмерном виде. Полученный результат (>1) означает, что расхождение между сигналами больше, чем типичная амплитуда самих вариаций.

GOES-16 и GOES-18 находятся относительно близко друг к другу. На таком расстоянии их показания ещё более-менее похожи, хотя различия уже заметны. Чем дальше друг от друга спутники, тем сильнее отличаются их сигналы. На больших расстояниях (как до «Электро-Л») связь между сигналами практически пропадает. Хотя в среднем спутники не завышают и не занижают показания друг относительно друга (нет постоянной ошибки), их значения всё равно сильно различаются. Они не

совпадают по времени (сдвинуты по фазе) и имеют разную силу (амплитуду). Это значит, что по данным одного спутника нельзя точно восстановить то, что происходит в другом месте Земли без дополнительных расчётов и моделей, а также осуществлять мониторинг и прогнозы космической погоды без учета положения КА.

В период с 14 по 17 июня 2023 года была зарегистрирована геомагнитная буря, которая по данным Dst-индекса достигла умеренного уровня и классифицировалась как событие класса G2 [Магнитные бури в 2023 году (июнь) …] (рис. 7).

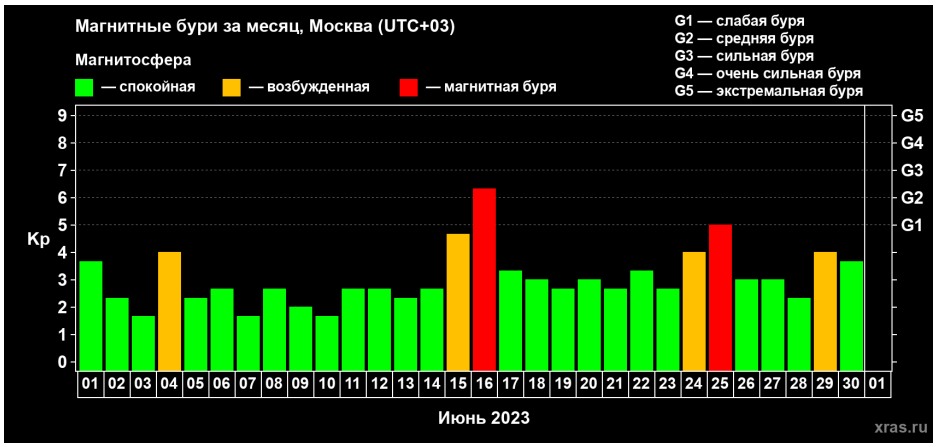


Рис. 7. Значения Кр-индекса за июнь 2023 года [Магнитные бури в 2023 году (июнь) …]

Сравнительный график исходных данных и ВЧ-компоненты за рассматриваемый период представлены на рисунке 8.

Для ВЧ-компоненты был проведен анализ и сравнение по каждому КА для всех фаз геомагнитной бури, а также для невозмущенной обстановки до её начала. График с разделением по фазам представлен на рисунке 9.

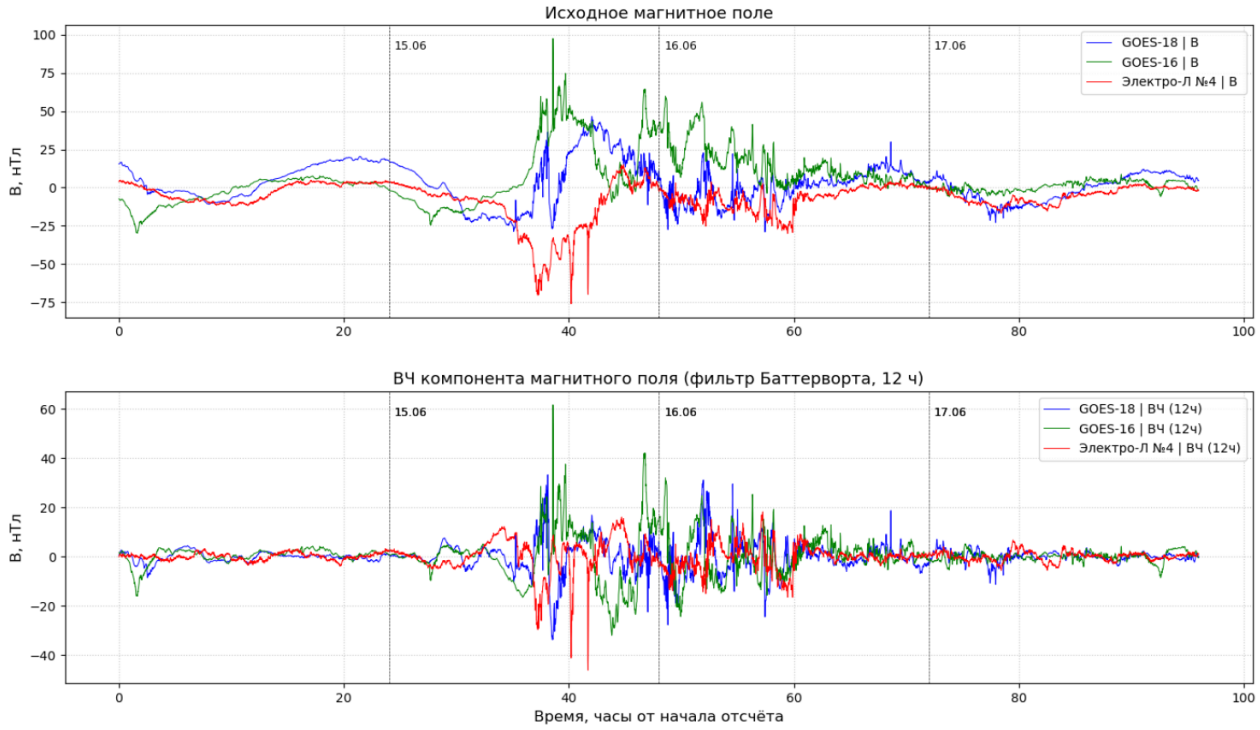


Рис. 8. Исходные данные и высокочастотная компонента (фильтр Баттерворта с частотой среза 12 часов) за период от 2023-06-14 до 2023-06-17 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

Для анализа также использовались данные Dst-индекса [World Data…] и данные с наземной обсерватории Intermagnet – PPT (Pamatai, координаты 17.5670S, 149.5740W) (рассчитана ВЧ компонента, фильтр Баттерворта с частотой среза 3 часа) [Брагина и др., 2024]. Dst-индекс характеризует глобальное изменение горизонтальной компоненты магнитного поля на экваторе, вызванное кольцевым током. В период 14-17 июня 2023 г. зарегистрирована буря с минимумом -72 нТл (16 июня, около 20:00 UTC). Выделены три фазы:

- Начальная (15 июня 10:00–15:00 UTC): рост Dst до +20 нТл (сжатие магнитосферы).
- Основная (15 июня 15:00 – 16 июня 20:00 UTC): падение до –72 нТл (усиление кольцевого тока).
- Восстановление (после 16 июня 20:00 UTC): возврат к спокойным значениям.

GOES-18. В начальной фазе бури амплитуда колебаний резко возрастает: максимум достигает 33.2 нТл, минимум опускается до -33.7 нТл (размах ~67 нТл). В основную фазу размах несколько сокращается: максимум 31.0 нТл, минимум -27.8 нТл, однако характер колебаний остаётся интенсивным. Восстановительная фаза сопровождается затуханием: максимум 18.7 нТл, минимум -24.5 нТл. Таким образом, GOES-18 чётко отражает все этапы бури с амплитудой высокочастотных вариаций около 60-70 нТл.

GOES-16. Начальная фаза характеризуется экстремальным ростом амплитуды: максимум 61.6 нТл, минимум -16.6 нТл (размах ~78 нТл). В основную фазу колебания остаются сильными: максимум 42.1 нТл, минимум -31.9 нТл. Восстановление снижает амплитуду до 19.2 нТл и -15.8 нТл. GOES-16 фиксирует наиболее энергичные ВЧ-возмущения среди всех трёх аппаратов, особенно в начальной фазе.

Электро-Л №4. Характер бури по данным отечественного КА по ВЧ-компоненте отличается от данных GOES: в начальной фазе поле не растёт, а падает до -29.7 нТл (максимум при этом всего 12.1 нТл). Основная фаза сопровождается дальнейшим углублением минимума до -46.2 нТл при максимуме 16 нТл.

Обсерватория PPT, расположенная вблизи точки стояния КА GOES, регистрирует в основном повышение числа высокочастотных пульсаций во время бури, однако её данные слабо отражают амплитуду и фазовый ход самого возмущения. Это объясняется тем, что наземные измерения чувствительны к локальным ионосферным токам и подвержены экранирующему действию атмосферы.

Полученные результаты показывают, что отклик магнитосферы на геомагнитную бурю зависит от долготного положения спутника. GOES-16 и GOES-18, расположенные рядом в западном полушарии, демонстрируют схожую динамику: резкий рост поля в начальной фазе с последующим падением. «Электро-Л №4», находящийся в восточном полушарии, ведёт себя противоположным образом: поле не растёт, а падает на начальной стадии бури и остаётся на низком уровне вплоть до восстановления. Это указывает на разные механизмы возмущений в секторах. Возможно, в момент начала бури дневная сторона (GOES) испытывает сжатие магнитопаузы и усиление поля, тогда как ночная или вечерняя сторона (Электро-Л) попадает в область магнитосферного хвоста с разреженным полем.

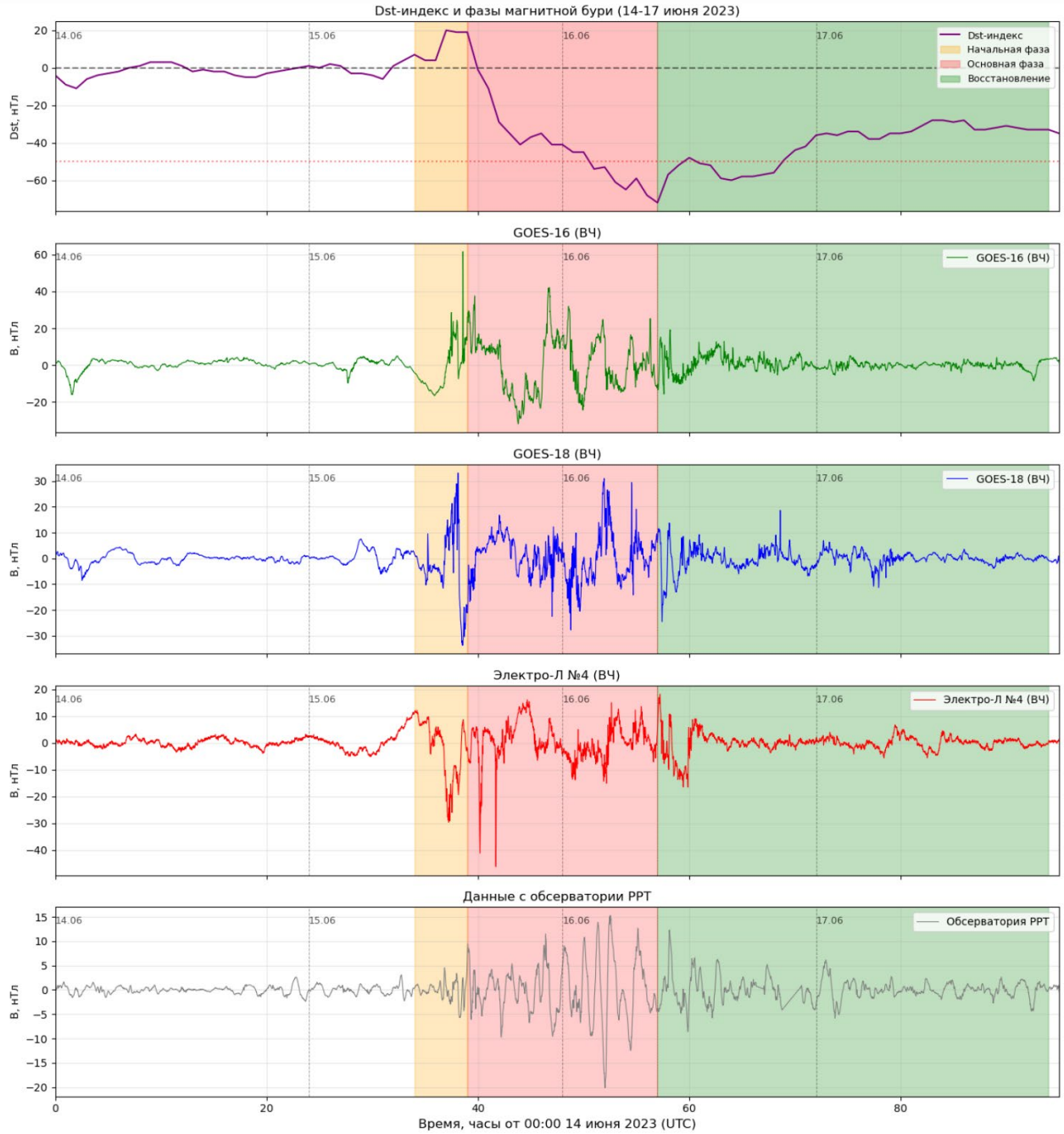


Рис. 9. Сравнение динамики высокочастотной (ВЧ) компоненты магнитного поля по данным спутников GOES-16, GOES-18, «Электро-Л №4» и наземной обсерватории PPT в период геомагнитной бури 14-17 июня 2023 г.

5. АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СПОКОЙНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ

Для оценки фонового уровня пульсаций и сравнительного поведения ВЧ-компоненты на разных долготах в отсутствие сильных внешних возмущений был выбран интервал с 11 по 16 августа 2023 г. В этот период геомагнитная обстановка была преимущественно спокойной (5 дней подряд Kp < 3), что позволило исключить влияние крупных бурь и суббуревых событий (рис. 10).

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

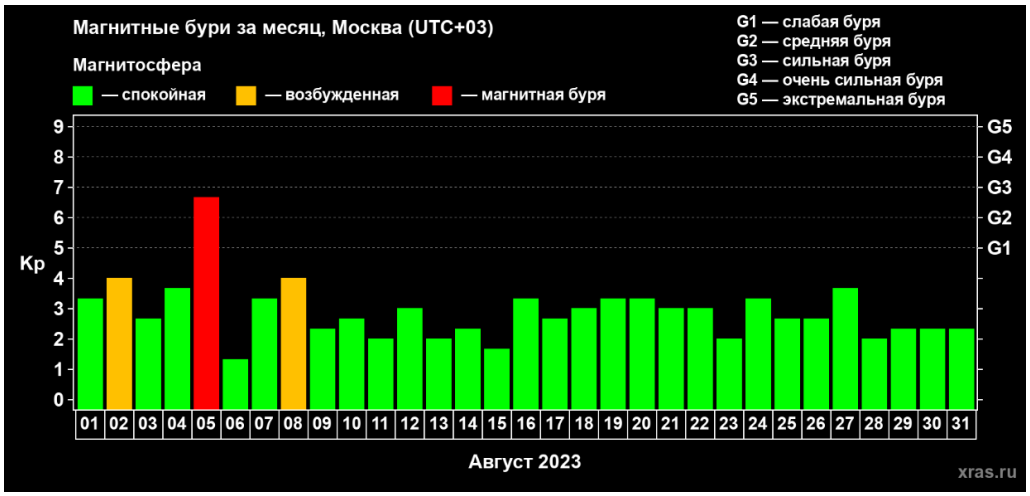


Рис. 10. Значения Кр-индекса за август 2023 года [Магнитные бури в 2023 году (август) …]

В спокойных условиях ВЧ-вариации на всех трёх КА имеют низкую амплитуду, однако между спутниками наблюдаются систематические различия (рис. 11).

Различия в амплитуде вариаций между спутниками (стандартное отклонение от 5.3 до 12.1 нТл) подтверждают пространственную неоднородность магнитосферного поля даже в спокойных условиях. Однако выявленные различия могут быть обусловлены не только физическими причинами, но и техническими факторами. Влияние собственного магнитного поля спутников и бортовых систем также может вносить вклад в наблюдаемые расхождения.

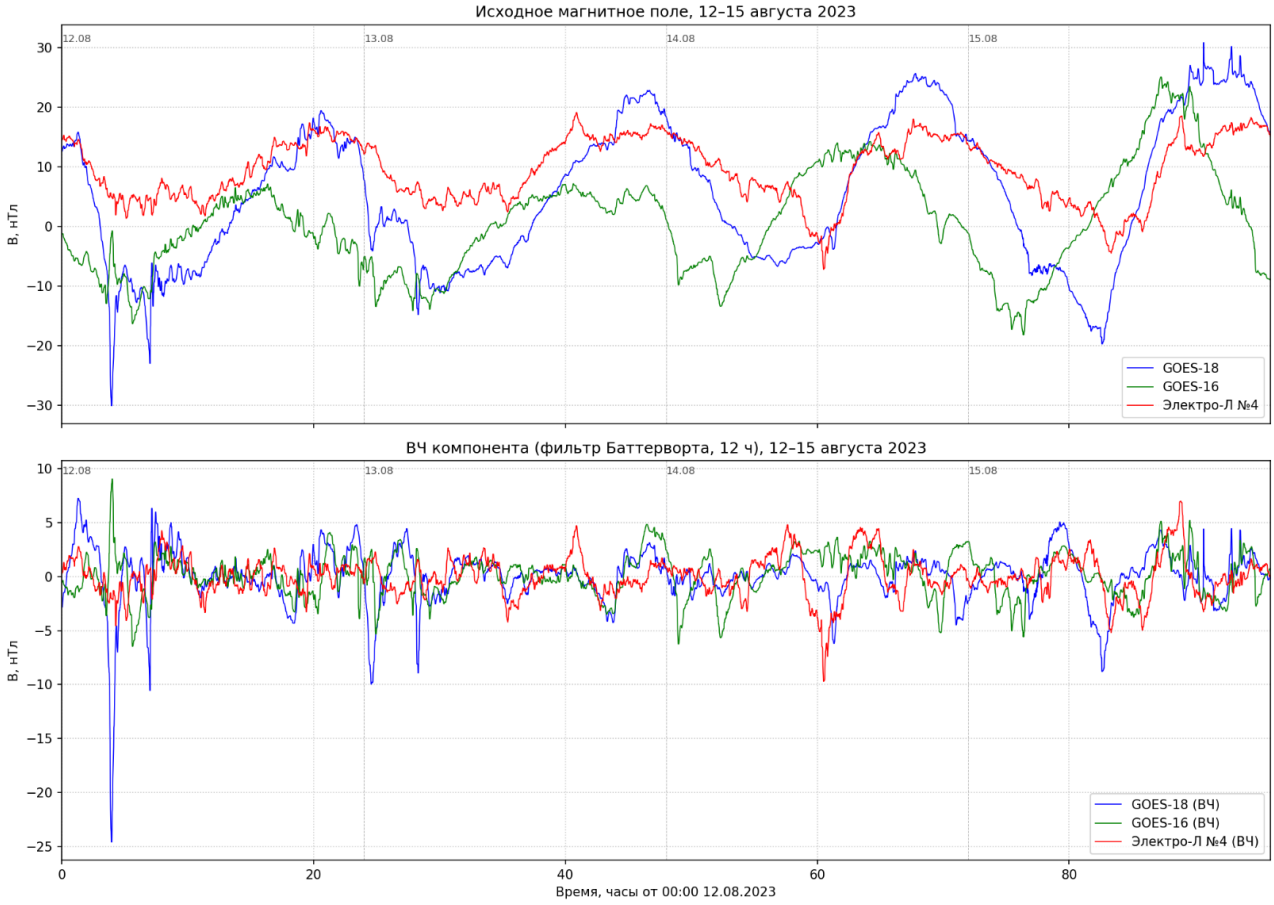


Рис. 11. Исходные данные и высокочастотная компонента (фильтр Баттерворта с частотой среза 12 часов) за период от 2023-08-12 до 2023-08-16 с КА GOES-18, GOES-16 и «Электро-Л» №4

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведённого исследования выполнен сравнительный анализ вариаций полного вектора магнитного поля по данным трёх геостационарных спутников: «Электро-Л №4» (165.8° в.д.), GOES-16 (104.7° з.д.) и GOES-18 (137° з.д.) за периоды июнь – июль и август – сентябрь 2023 г. Получены следующие основные результаты:

- Применение полосового фильтра позволило выделить суточную компоненту поля. Методом взаимной корреляции установлены временные сдвиги между сигналами спутников: 2-2.5 ч для пары GOES-18 – «Электро-Л №4», 3.5 ч для пары GOES-18 – GOES-16 и 5.5-6 ч для пары GOES-16 – «Электро-Л №4». Сравнение фактических сдвигов с расчётными по географической долготе и по MLT (библиотека ApexPy) показало их несовпадение, что указывает на необходимость учёта дополнительных факторов при интерпретации данных магнитного поля с космических аппаратов.
- Анализ ВЧ-компоненты выявил, что в периоды геомагнитных бурь амплитуда возмущений синхронно возрастает на всех трёх КА, что свидетельствует о глобальном характере возмущений. В спокойных условиях высокочастотные пульсации практически не коррелируют.
- Выявлена разница в отклике между спутниками GOES и «Электро-Л №4». GOES-16 и GOES-18 в начальной фазе бури регистрируют резкий рост амплитуды колебаний ВЧ-компоненты (до 60-70 нТл), тогда как «Электро-Л №4» показывает падение поля. Это может указывать на асимметрию магнитосферы: дневная сторона испытывает сжатие и усиление поля, а ночная/вечерняя попадает в область магнитосферного хвоста с разреженным полем.
- Полученные результаты демонстрируют, что данные одного геостационарного спутника недостаточны для восстановления глобальной картины вариаций магнитного поля. Это необходимо учитывать при оперативном мониторинге космической погоды и интерпретации данных бортовых магнитометров. Перспективным направлением является совместное использование данных российских и зарубежных геостационарных КА для создания глобальной системы контроля геомагнитной обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

- *Брагина А.А., Арутюнян Д.А., Шклярук А.Д.* Минутные измерения магнитовариационных обсерваторий сети INTERMAGNET за период с 2019 по 2023 год после обработки: база данных: свидетельство о регистрации базы данных № 2024622156, 2024.
- ГОСТ 25645.121-85. Проникновение космических лучей в магнитосферу Земли. Граница проникновения протонов // Дата введения 1987-01-01. Москва: Издательство стандартов, 1985. 7 с.
- *Лапшин В.Б. Сыроешкин, А.В., Минлигареев, В.Т.* Эталонная база для метрологического обеспечения комплексной целевой аппаратуры космических аппаратов гелиогеофизического назначения // Мир измерений, № 9, 2013. С. 37-41.
- Магнитные бури в 2023 году (август). Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца, ФИАН [Электронный ресурс]. URL: https://xras.ru/magnetic_storms.html?m=8&y=2023 (дата обращения: 23.04.2026).
- Магнитные бури в 2023 году (июнь) // Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца, ФИАН [Электронный ресурс]. URL: https://xras.ru/magnetic_storms.html?m=6&y=2023 (дата обращения: 23.04.2026).
- Рейтинг геомагнитных бурь (топ-50) за 2023 год. SpaceWeatherLive [Электронный ресурс]. URL: https://www.spaceweatherlive.com/ru/avroralnaya-aktivnost/tor-50-reyting-geomagnitnyh-shtormov/god/2023.html (дата обращения: 21.05.2026).
- ApexPy documentation: Apex.geo2apex [Электронный ресурс]. URL: https://apexpy.readthedocs.io/en/latest/autoapi/generated/apexpy/index.html#apexpy.Apex.geo2apex (дата обращения: 30.04.2026).
- CDAWeb (Coordinated Data Analysis Web). NASA Goddard Space Flight Center [Электронный ресурс]. URL: https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/ (дата обращения: 07.04.2026).

© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

– MAG. OSCAR: Observing Systems Capability Analysis and Review Tool [Электронный ресурс]. URL: https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/mag (дата обращения: 06.03.2026).
– World Data Center for Geomagnetism, Kyoto: Service 3 (Quick-look plots). WDC for Geomagnetism, Kyoto University [Электронный ресурс]. URL: https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html (дата обращения: 12.05.2026).

COMPARISON OF DATA FROM MAGNETOMETRIC EQUIPMENT ON GEOSTATIONARY SPACECRAFT GOES-18, GOES-16 AND ELEKTRO-L

Bragina A. A., Lygin I. V., Arutyunyan D. A., Shklyaruk A. D., Mukhametzyanov M. R.

The article presents the results of a comparative analysis of variations in the total magnetic field vector in geostationary orbit according to data from the Russian Electro-L spacecraft No. 4 (position 76° east) and foreign spacecraft GOES-16 (104.7° west) and GOES-18 (137° west.). The initial data of the FM-E and MAG magnetometers are reduced to a single format with minute resolution, filtering of daily and high-frequency variations is performed. By the method of mutual correlation, time shifts between the signals of the satellites have been established, amounting to 2 to 6 hours, which are explained by the differences in local magnetic time (MLT). It is shown that the high-frequency component of the field (periods less than 12 hours) is well-agreed on all three vehicles, especially during periods of geomagnetic disturbances, whereas the daily variations and response to magnetic storms significantly depend on the longitude position of the spacecraft. Using the example of the storm of June 14-17, 2023, it was revealed that GOES-16 and GOES-18 demonstrate an increase in the field in the initial phase, while Electro-L No. 4 reacts with a decrease, indicating the asymmetry of the magnetosphere. These results highlight the importance of considering the satellite's position when interpreting data and making space weather forecasts.

KEYWORDS: SPACECRAFT, MAGNETOMETRY, EARTH'S MAGNETIC FIELD, MAGNETIC FIELD VARIATIONS, GEOSTATIONARY ORBIT.